



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

NÁVRH ROBOTICKÉ BUŇKY PRO MANIPULAČNÍ OPERACE

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR MANIPULATION OPERATIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL HAJNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POCHYLÝ

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Hajný

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh robotické buňky pro manipulační operace

v anglickém jazyce:

Design of a robotic cell for manipulation operations

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte obecnou koncepci robotického pracoviště (layout) s robotem KUKA pro manipulační úlohu dle zadání. Dále by měl být zpracován obecný algoritmus pro danou úlohu, případně vytvoření grafické simulace.

Cíle bakalářské práce:

1. Návrh koncepce pracoviště - vytvoření layoutu buňky (2D)
2. Vypracování obecného algoritmu pro zadanou úlohu (např. vývojový diagram), popř. vytvoření 3D simulace v prostředí KUKA Sim.PRO.

Seznam odborné literatury:

1. PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2007. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3
2. WOLF, A., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Grippers in Motion: The Fascination of Automated Handling Tasks. Springer, 2005. 242 s. ISBN 978-3-540-27718-7

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Pochylý

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 22.11.2013

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem rozložení robotického pracoviště pro manipulační operaci, kterou by měl vykonávat robot od firmy KUKA. V této práci je teoretický úvod pro robotickou manipulaci, dále volba nejlepšího návrhu rozložení pracoviště. Pro toto pracoviště je vypracován vývojový diagram a vytvořena simulace v programu KUKA Sim.Pro.

Klíčová slova

Robot, rozložení, manipulace, algoritmus, simulace

Abstract

This bachelor thesis deals with design of a robotic cell for manipulation operations, which should be done by KUKA robot. This thesis contains theoretical introduction to the robotic manipulation and the choice of the best layout. Further on there are general algorithm and 3D simulation made for this layout.

Keywords

Robot, layout, manipulation, algorithm, simulation

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Návrh robotické buňky pro manipulační operace jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce Ing. Aleše Pochylého za použití odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 29. 5. 2014

Pavel Hajný

Poděkování

Děkuji Ing. Aleši Pochylému za odborné vedení práce, věcné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Bibliografická citace


HAJNÝ, Pavel. *Návrh robotické buňky pro manipulační operace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 55 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.

Obsah

| | |
|--|----|
| Obsah | 13 |
| Úvod..... | 16 |
| 1 Robotická pracoviště | 17 |
| 1.1 Robotizace průmyslu..... | 17 |
| 1.2 Definice průmyslového robotu..... | 18 |
| 1.3 Požívané typy průmyslových robotů [3] [6] [7]..... | 18 |
| 1.3.1 6 DOF robot..... | 18 |
| 1.3.2 SCARA robot..... | 19 |
| 1.3.3 Paletizační robot..... | 20 |
| 1.3.4 Robot s paralelní kinematikou | 20 |
| 1.4 Možnosti uchopování [5] [24] | 21 |
| 1.4.1 Mechanické uchopování..... | 22 |
| 1.4.2 Podtlakové uchopování | 23 |
| 1.4.3 Ostatní druhy uchopování | 23 |
| 1.5 Bezpečnost robotických pracovišť [12]..... | 23 |
| 1.5.1 Normy | 23 |
| 1.5.2 Ochranné hrazení..... | 24 |
| 1.5.3 Bezdotykové ochranné pomůcky..... | 25 |
| 2 Návrh robotické buňky | 26 |
| 2.1 Zadaní manipulační úlohy | 26 |
| 2.2 Volba robota [10]..... | 27 |
| 2.2.1 Typ robota | 27 |
| 2.2.2 KR 6 SIXX (KR AGILUS)..... | 27 |
| 2.2.3 KR 5 SCARA R550..... | 28 |
| 2.3 Varianty uspořádání | 29 |
| 2.3.1 1. varianta..... | 29 |
| 2.3.2 2. varianta..... | 30 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.3.3 | 3. varianta..... | 31 |
| 2.3.4 | 4. varianta..... | 33 |
| 2.4 | Výběr varianty | 34 |
| 2.5 | Koncový efektor | 35 |
| 2.5.1 | Typ efektoru | 35 |
| 2.5.2 | Tvar efektoru | 36 |
| 2.5.3 | Dvojitý efektor..... | 36 |
| 2.6 | Ukládání zmetkových objektů | 37 |
| 3 | Obecný algoritmus..... | 38 |
| 3.1 | Popis funkce | 38 |
| 3.2 | Paletizace a depaletizace | 38 |
| 3.3 | Vstupy a výstupy..... | 39 |
| 3.4 | Vývojový diagram..... | 39 |
| 3.4.1 | Proces Vzit_ze_vstupu..... | 40 |
| 3.4.2 | Proces Counter_vstupni | 41 |
| 3.4.3 | Podproces Vlozeni_do_mereni..... | 42 |
| 3.4.4 | Proces Counter_vystup | 43 |
| 4 | Simulace..... | 44 |
| 4.1 | Důvody simulace..... | 44 |
| 4.2 | Software..... | 44 |
| 4.2.1 | KUKA Sim.Pro..... | 44 |
| 4.2.2 | Robotstudio | 45 |
| 4.3 | Simulace zadané manipulační úlohy..... | 46 |
| 4.3.1 | Modely pro simulaci..... | 46 |
| 4.3.2 | Rozložení a nástroj..... | 46 |
| 4.3.3 | Programování..... | 47 |
| 4.3.4 | Vyhodnocení | 47 |
| | Závěr..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Seznam použitých zdrojů | 50 |
| Seznam obrázků | 53 |
| Seznam tabulek, diagramů a grafů | 55 |

| | | |
|---|--|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 16 |
| | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE | |

Úvod

Nahrazení ruční manipulace manipulací robotickou je v dnešní době poměrně častý jev v sériové a hromadné výrobě, obzvláště u opakujících se úkonů a tam, kde je potřeba přesnosti opakování dané operace. Dochází také ke zvýšení výrobnosti a celé ekonomičnosti provozu.

V úvodu této práce (kap. 1) je popsán teoretický úvod pro robotickou manipulaci. Cílem této práce je navrhnout koncepci robotického pracoviště (kap. 2). Tento návrh zahrnuje také výběr vhodného typu robota, který bude vykonávat zadanou manipulační operaci. Rozložení pracoviště bude přizpůsobeno, tak aby vyhovovalo zadané operaci, která na něm má být prováděna. Jedná se o automatizovanou kontrolu rozměru výrobků, která bude blíže specifikována dále v práci.

Součástí tohoto návrhu bude výběr z více variant rozložení. Pro výběr vhodné varianty bude zvoleno několik kritérií, tak aby byly zohledněny všechny výhody a nevýhody jednotlivých variant.

Po vybranou variantu bude následně vypracován obecný algoritmus operace (kap. 3), který je vyjádřen pomocí vývojových diagramů. Tento algoritmus slouží jako podklad pro programování robotické buňky.

Jako poslední je provedena 3D simulace provozu pracoviště v programu KUKA Sim.Pro (kap. 4), která graficky znázorní výsledný vzhled a potvrdí funkčnost navrženého rozložení.

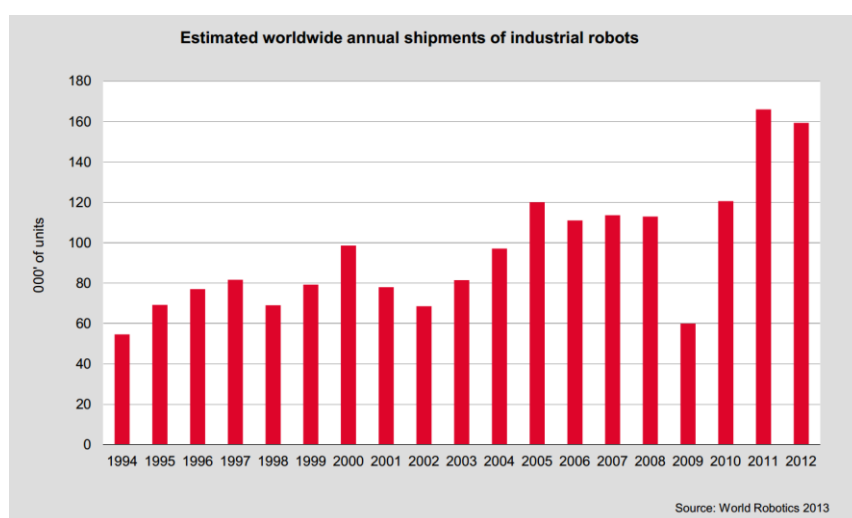


1 Robotická pracoviště

1.1 Robotizace průmyslu

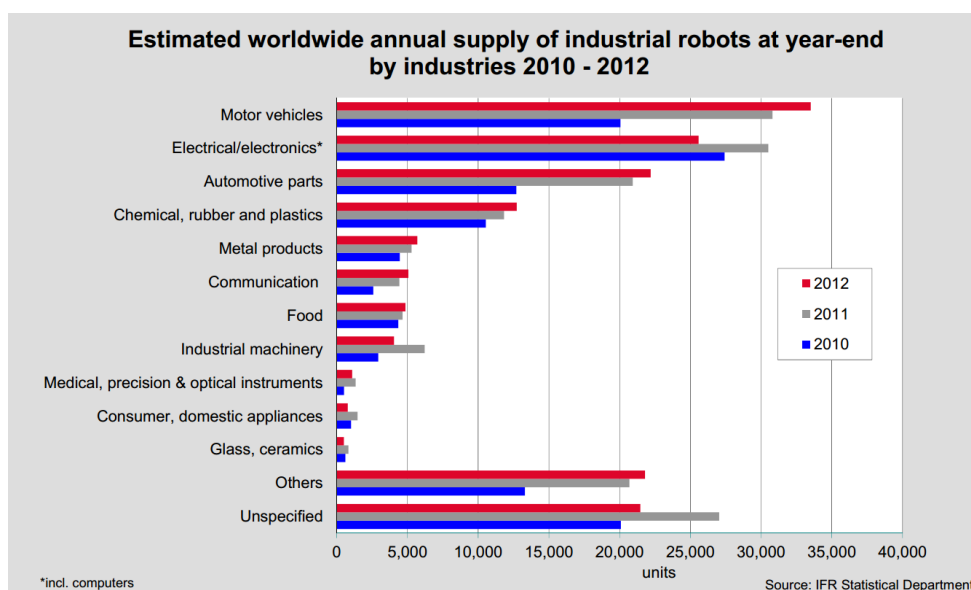
V současné době se automatizace procesů stává čím dál tím více aktuální nejen jako faktor snižování nákladů, ale i vlivem obecného nedostatku kvalifikovaných pracovních sil. Základní myšlenkou, vedoucí až ke vzniku robotů, bylo nahrazení lidské činnosti při děláni jednotvárných monotónních pracovních úkonů, popřípadě v nebezpečném nebo nedostupném prostředí.


Graf 1 Prodej průmyslových robotů [1]



Z grafu č. 1 je jasně patrný rostoucí trend prodeje průmyslových robotů, kromě propadu v roce 2009. Průmyslové roboty zaznamenávají úspěch hlavně v automobilové výrobě, jak ukazuje graf č. 2. V této tabulce můžeme také vidět další oblasti průmyslu, ve kterých využíváme průmyslové roboty.[1]

Graf 2 Oblasti využití průmyslových robotů [1]



| | | |
|---|--|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 18 |
| | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE | |

1.2 Definice průmyslového robotu

Nejprve by bylo vhodné definovat si, co vlastně znamená „průmyslový robot“ a co si můžeme pod tímto pojmem představit. V literatuře lze najít mnoho různých definic, prakticky se dá říci, že každá literatura uvádí jinou definici. Já jsem do své práce vybral definici podle prof. P.N.Beljanina:

„Průmyslový robot je autonomně fungující stroj – automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka a který je k tomu účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí apod.), schopností samovýuky, samorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.“ [2]

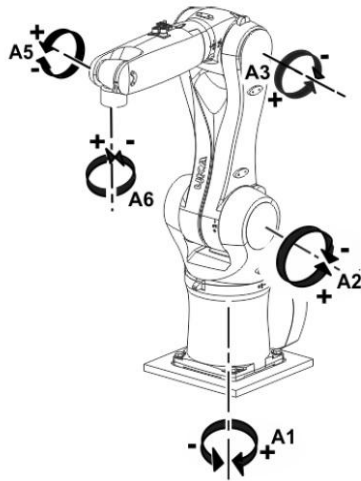
1.3 Požívané typy průmyslových robotů [3] [6] [7]

Podle typu kinematické struktury můžeme rozdělit průmyslové roboty do dvou základních skupin: na sériové a paralelní. Typ struktury značně ovlivňuje důležitou vlastnost robotů a tou je pracovní oblast, což je prostor, v němž se může pohybovat rameno robotu. V této části práce bych se chtěl omezit pouze na vypsání typů průmyslových robotů, které se používají pro manipulaci s objekty a přímo tedy souvisí s tématem této práce.

1.3.1 6 DOF robot

6 DOF (Degrees Of Freedom = stupně volnosti) znamená, že tento robot se pohybuje se šesti stupni volnosti. Stupeň volnosti je počet os nebo směrů, ve kterých může robot vykonávat pohyb. Vyobrazení těchto os na příkladě robota je na obrázku č. 1. Při manipulaci se využívá také varianta tohoto robota, která nemá poslední 6. osu a používá se pro méně náročné operace (není možné natočit nesený objekt kolem jeho osy).

Jedná se o universální průmyslový robot využívající sériovou kinematickou strukturu. Jeho použití není omezeno pouze na manipulaci, ale je využíván také v dalších oblastech (svařování, broušení atd.). V současnosti se jedná o nejrozšířenější druh kinematiky u průmyslových robotů. Rameno robotu je složeno z rotačních vazeb, které jsou řazeny za sebou a mohou se pohybovat nezávisle na sobě. Využitím tohoto řazení dosáhneme vysoké variability použití robotů s touto strukturou. Určitou nevýhodou může být nižší rychlost a zrychlení dané velkým množstvím pohybující se hmoty a také fakt, že chyby polohování se postupně sčítají na jednotlivých osách. Ovšem mezi výhody můžeme zařadit, kromě výše zmíněné variability použití, také jednoduchost regulace (každá osa je řízena samostatně) a obecně větší pracovní prostor.[25]



Obr. 1 Zobrazení os u robota KUKA KR 6 [8]

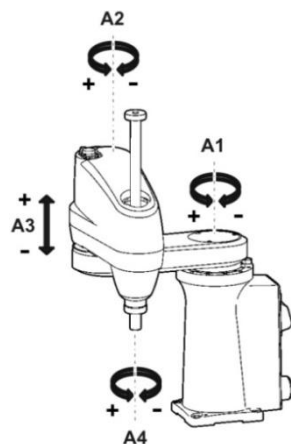


Obr. 2 Příklad 6DOF robota – KUKA KR 6-2 [10]

Tento typ robota je využíván, pokud je zapotřebí manipulovat s objektem po složitější dráze nebo vyhovuje-li nám pro danou operaci jeho pracovní prostor. Příklad tohoto typu robota je na obrázku č. 2.

1.3.2 SCARA robot

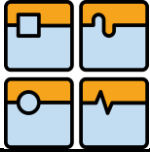
SCARA je čtyř-osý průmyslový robot využívající sériovou kinematiku. Tento typ robota můžeme zařadit mezi roboty paletizační. Jeho konstrukce (vyobrazena na obrázku č. 3) se skládá ze tří rotačních vazeb a jedné translační, která se stará o zdvih neseného předmětu. Zbylé rotační vazby umožňují pohyb robota. Díky uspořádání těchto vazeb je příruba pořád vodorovně skloněná k základně robota. Je využíván pro manipulaci s menšími hmotnostmi. Příklad SCARA robota je na obrázku č. 4. [25]



Obr. 3 Zobrazení os u robota – KUKA SCARA [9]



Obr. 4 Příklad SCARA robota – KUKA SCARA KR5 R550 [18]



1.3.3 Paletizační robot

Jedná se o typ průmyslových robotů, které jsou určeny pro paletizování výrobků, většinou větších rozměrů a hmotností. Vyrábí se jako čtyř-osé popřípadě pěti-osé, přičemž všechny vazby jsou rotační a celá konstrukce je masivnější než u předchozích typů robotů. Nosnost těchto robotů se pohybuje v rozmezí od 40kg do 1300kg.



Obr. 5 Příklad paletizačního robota – KUKA KR 40 PA [10]

1.3.4 Robot s paralelní kinematikou

Průmyslové roboty s touto kinematikou jsou v současnosti využívány pouze ve speciálních případech. Základem paralelní kinematiky je platforma, která je zavěšena na kloubově uložených a délkově proměnlivých ramenech. Tímto uspořádáním dokážeme zajistit menší pohyblivé hmotnosti a tím i větší rychlost. Velká rychlost a zrychlení je největší výhodou paralelní kinematiky. Mezi nevýhody můžeme zmínit složité řízení, tepelné dilatace dlouhých ramen a tření v kulových kloubech. Tato kinematika je využívána u tzv. DELTA robotů. Tito roboti jsou využíváni právě pro své vlastnosti plynoucí z paralelní kinematiky, pro manipulaci s výrobky na pásech výrobních linek. Příkladem takového robota může být robot ABB Flexpicker na obrázku č. 6. [27]



Obr. 6 Ukázka robotu ABB Flexpicker v praxi [11]

1.4 Možnosti uchopování [5] [24]

Manipulaci s předměty můžeme rozdělit na dva základní principy podle typu sevření [5]:

- Silové sevření – při tomto principu sevření je manipulovaný objekt držen v čelisti pomocí sil, které vznikají při sevření čelistí kolem objektu
- Tvarové sevření – objekt není držen v čelistech pomocí sil, ale díky vhodnému vytvarování čelistí podle tvaru manipulovaného objektu dojde k dostatečně pevnému uchopení

Tyto základní principy je možné i kombinovat mezi sebou, a tím dosáhnout požadované pevnosti úchopu. Tabulka č. 1 ukazuje možnosti těchto kombinací. Všechny tyto typy sevření jsou navrženy pro použití dvou a více kontaktních ploch. V případě, že nám dovolí možnosti uchopení využít pouze jedné kontaktní plochy, můžeme toto uchopení rozdělit na dva typy a to na adhezní a zpětné uchopení. Při zpětném uchopení využíváme gravitačních, magnetických nebo podtlakových sil.



Tab. 1 Možnosti uchopování objektů [5]


| | principle of function | force lock | form lock |
|---|---|---|---|
| gripping with one contact surface | adhesive grip  |  | |
| | reverse grip  | |  |
| gripping with more than one contact surface | force-fit  |  | |
| | force-fit/form-fit  |  |  |
| | form-fit  | |  |

1.4.1 Mechanické uchopování

Je v praxi nejpoužívanějším typem uchopování objektů při manipulaci a paletizaci. Chapadlo, jak tento koncový efektor nazýváme, se většinou skládá ze dvou až čtyř prstů. Tyto prsty jsou synchronizované a ovládané pomocí vnitřního mechanismu a pohonu chapadla. Princip uchopení je založen na využití třecích sil vznikajících mezi manipulovaným objektem a prsty. Potřebná přitlačná síla závisí na podmínkách manipulace. Při tomto způsobu uchopování je nutné zkontrolovat, zda nedojde sevřením k poškození objektu např. znehodnocením povrchu objektu. [24]



Obr. 7 Ukázka mechanického chapadla [21]

| | | |
|---|--|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 23 |
| | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE | |

1.4.2 Podtlakové uchopování

Pro podtlakové uchopování se používají prvky nazývané přísavky. Na dnešním trhu je k dispozici široký výběr typů přísavek a jejich velikostí. Přísavky mají většinou kruhový tvar a mohou být vyztuženy žebry. Tento způsob uchopení lze použít pouze v případě, že na objektu, který chceme manipulovat, je dostatečně velká, rovná a pevná plocha. Pro vytvoření podtlaku jsou používány ejektory. [24]



Obr. 8 Ukázka podtlakového uchopování [13]

1.4.3 Ostatní druhy uchopování

Tyto druhy se používají pouze ve speciálních případech. Jedná se o uchopování pomocí magnetických, adhezních sil, případně pomocí jehlic nebo deformační vaky. Při použití magnetických sil používáme elektromagnet pro vytvoření magnetického pole, tento způsob je použitelný pouze pro feromagnetické materiály. Nevýhodou může být, že po manipulaci zůstane objekt zmagnetizován, což je nežádoucí pro další zpracování. [24]

1.5 Bezpečnost robotických pracovišť [12]

Při návrhu robotického pracoviště hraje důležitou roli také zohlednění bezpečnosti na pracovišti. Bezpečnosti je dosahováno pomocí bezpečnostních prvků, které jsou instalovány na pracovišti. Některým z těchto prvků se budu věnovat v dalších podkapitolách.

1.5.1 Normy

V tabulce č. 2 uvádím příklad norem, které se týkají bezpečnosti na robotickém pracovišti. Nejedná se o všechny bezpečnostní normy, ale pouze o ty základní, které se přímo týkají průmyslových robotů.



Tab. 2 Bezpečnostní normy [8]

| Name | Definition | Edition |
|----------------|--|---------|
| 2006/42/EC | Machinery Directive: Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC (recast) | 2006 |
| 2004/108/EC | EMC Directive: Directive 2004/108/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility and repealing Directive 89/336/EEC | 2004 |
| EN ISO 13850 | Safety of machinery: Emergency stop - Principles for design | 2008 |
| EN ISO 12100-1 | Safety of machinery: Basic concepts, general principles for design - Part 1: Basic terminology, methodology | 2003 |
| EN ISO 12100-2 | Safety of machinery: Basic concepts, general principles for design - Part 2: Technical principles | 2003 |
| EN ISO 10218-1 | Industrial robots: Safety | 2008 |
| EN 954-1 | Safety of machinery: Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles of design | 1997 |
| EN 614-1 | Safety of machinery: Ergonomic design principles - Part 1: Terms and general principles | 2006 |
| EN 61000-6-2 | Electromagnetic compatibility (EMC): Part 6-2: Generic standards; Immunity for industrial environments | 2005 |
| EN 61000-6-4 | Electromagnetic compatibility (EMC): Part 6-4: Generic standards; Emission standard for industrial environments | 2007 |
| EN 60204-1 | Safety of machinery: Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements | 2006 |

1.5.2 Ochranné hrazení

Úkolem hrazení není pouze zabránit osobám v kontaktu s ramenem, ale také respektovat technologická nebezpečí (pokud se nejedná o manipulaci, ale o svařování, stříkání atd.). Součástí hrazení jsou také vstupy do nebezpečného prostoru kolem robota, které jsou nutné pro vykonávání seřizovacích, oživovacích a servisních prací. Obecně lze říci, že se požaduje, aby při vniknutí osoby do nebezpečného prostoru během automatické činnosti robota došlo k jeho zastavení. A automatický chod musí být možný, pouze pokud není žádná osoba uvnitř. Pro ochranu vstupu je možno použít například blokováných dveří nebo závor. Tyto dveře jsou vybaveny senzory, které při otevření dají impuls pro zastavení robota. Poté je k jeho spuštění potřeba zavřít dveře a stisknout tlačítko, které je umístěno tak, aby se dalo ovládat pouze z vnějšku hrazení nebezpečného prostoru. [12]



Obr. 9 Příklad použití ochranného hrazení [14]

1.5.3 Bezdotykové ochranné pomůcky

Tyto ochranné pomůcky fungují na principu změny nebo přerušení optického, magnetického, popř. elektrostatického pole. V praxi se setkáváme hlavně s použitím světelných závor nebo laserových skenerů.

Světelné závory slouží k ochraně prstů a rukou, případně k zabezpečení přístupu do nebezpečného prostoru. Při návrhu světelných závor je nutné dodržet příslušné normy. Tyto normy udávají, jak musí být jednotlivé paprsky vzdáleny od sebe, aby nemohlo dojít k prostrčení části těla skrz závory a způsobit tak úraz. Minimální vzdálenost závisí také na poloze závor. Zároveň je také nutno spočítat minimální vzdálenost těchto závor od pohyblivé části robota, vzdálenost by měla být dostatečně velká na to, aby se pohybující části stihly zastavit před možným kontaktem s osobou. Ukázky závor na obr. č. 10. [12]



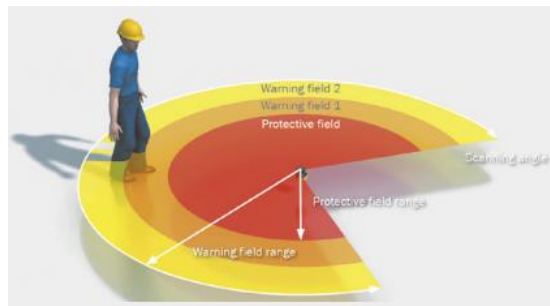
Obr. 10 Ukázka světelných závor [15]



Laserovým skenerem jsme schopni, na rozdíl od závor, snímat celé pole (obr. č. 12). V tomto snímaném poli můžeme rozlišit oblasti na části, kde dojde pouze k upozornění osoby a na oblasti, kde dojde k zastavení robotu. Pro umístění skeneru platí podobné zásady jako pro světelné závory. Příklad tohoto skeneru je na obrázku č. 11. [12]



Obr. 11 Laserový skener SICK S 3000 [16]



Obr. 12 Snímané pole [16]

2 Návrh robotické buňky

2.1 Zadaní manipulační úlohy

Navrhovaná buňka by měla vykonávat kontrolu rozměru součástí a separovat zmetkové součásti od součástí vyhovujících. Samotnou kontrolu rozměru provede měřicí stůl, do kterého robot vloží výrobek a po jeho změření jej zase odebere a přesune na jiné místo, podle výsledku měření. V případě, že je výrobek vyhodnocen jako vyhovující, tak ho robot uloží na výstupní paletku, ležící na dopravníku. Pokud je vyhodnocen jako zmetek, dokáže měřicí jednotka rozpoznat, zda se jedná o opravitelný/neopravitelný zmetek. Zmetky se budou ukládat na místo k tomu určené, případně je možné ukládat opravitelné zmetky na speciální paletu. Kontrolovanou součástí je výrobek hřídelového typu obrázek č. 13. Tyto výrobky jsou dopravovány na paletkách po dopravníku. Měření výrobku trvá zhruba 2 až 3 vteřiny.



Obr. 13 Objekt pro manipulaci

Tabulka č. 3 obsahuje souhrn zadaných parametrů, které musí buňka splňovat.

Tab. 3 Zadané parametry

| Paletky | |
|------------------------------------|----------------|
| - Rozměry | 280x280x100mm |
| - Počet výrobků | 64 (8x8) |
| Výrobek | |
| Rozměry | |
| - Délka | 60mm |
| - Průměr pro uchopení | 15mm |
| - Průměr osazení | 25mm |
| Plocha v paletě lapována | |
| Měřicí stanice | |
| - Rozměry | 450x650x800mm |
| - Rozteč mezi horní a spodní částí | 200mm |
| - Měřicí čas | 2 až 3 sekundy |

2.2 Volba robota [10]

Při volbě robota jsem se držel podmínky zadání – a to upřednostnit robota od firmy KUKA. Tato firma nabízí širokou nabídku průmyslových robotů všech nosností a dosahů. Právě tyto dva parametry byly mým prvním orientačním kritériem pro volbu robota. Hmotnost výrobku, se kterým měl robot pracovat, je 150g, proto stačilo vybrat robota s nejnižší nosností, což je 5-6kg. Potřebný dosah záleží na uspořádání pracoviště, ale dostupné dosahy těchto menších robotů jsou až do 900mm, což by mělo být více než dostatečné. Dalším důležitým parametrem, při výběru může být přesnost opakování. Běžné hodnoty tohoto parametru jsou v řádech setin milimetru, pro naši manipulaci jsou tyto hodnoty dostatečné. Samozřejmostí je snaha o použití co nejmenšího robota, jelikož se jedná o nejdražší část celé buňky.

2.2.1 Typ robota

Charakter manipulace a předpokládaná dráha pohybu mi umožnily vybrat si mezi použitím čtyřosého robota typu SCARA nebo šestiosého robota typu KR6 SIXX AGILUS.

2.2.2 KR 6 SIXX (KR AGILUS)

„KR 6 AGILUS sixx je cíleně dimenzován pro zvlášť vysoké pracovní rychlosti. Současně nabízí vysokou přesnost. Malá potřeba místa a volitelná montáž na podlahu, strop a zeď umožňují extrémní přizpůsobivost robotu KR AGILUS sixx.“ [18]

Tento typ se vyrábí v několika provedeních, značených podle velikosti maximálního dosahu R700 a R900. Pro zadanou operaci by nám měla stačit varianta s dosahem 700mm. Na obrázku č. 14 je tento robot vyobrazen a tabulka č. 4 obsahuje základní parametry tohoto robota.



Obr. 14 Robot KUKA KR6 SIXX R700 [18]

Tab. 4 Základní parametry KUKA KR6 SIXX R700 [18]

| Zátěž | |
|-------------------------|---------------------|
| Mezní zátěž | 6 kg |
| Pracovní zóna | |
| Max. dosah | 706,7 mm |
| Další údaje a provedení | |
| Počet os | 6 |
| Přesnost opakování | ±0,03 mm |
| Hmotnost | 50 kg |
| Montážní polohy | Podlaha, strop, zeď |
| Řídicí systém | KR C4 compact |
| Stupeň ochrany | IP 54 |

2.2.3 KR 5 SCARA R550

„Roboty KUKA SCARA v sobě spojují celosvětově nejprodávanější a nejrychlejší mechaniky SCARA s celosvětově nejprodávanějšími a nejosvědčenějšími řídicími systémy robotů na počítačové bázi.“ [19]

Tento typ se vyrábí v několika provedeních, značených podle velikosti zdvihu translační osy Z200 a Z320, pro naše použití stačí zdvih 200mm. Na obrázku č. 15 je tento robot vyobrazen a tabulka č. 5 obsahuje základní parametry tohoto typu robota.



Obr. 15 Robot KUKA KR 5 SCARA R550 Z200 [19]

Tab. 5 Základní parametry KUKA KR 5 SCARA R550 [19]

| Zátěž | |
|-------------------------|-----------------|
| Mezní zátěž | 5 kg |
| Zdvih Z | 200 mm / 320 mm |
| Pracovní zóna | |
| Max. dosah | 550 mm |
| Další údaje a provedení | |
| Počet os | 4 |
| Přesnost opakování | <±0,02 mm |
| Hmotnost | 20 kg |
| Montážní polohy | Podlaha |
| Řídicí systém | KR C2sr |
| Rychlost | max. 7,1 m/s |

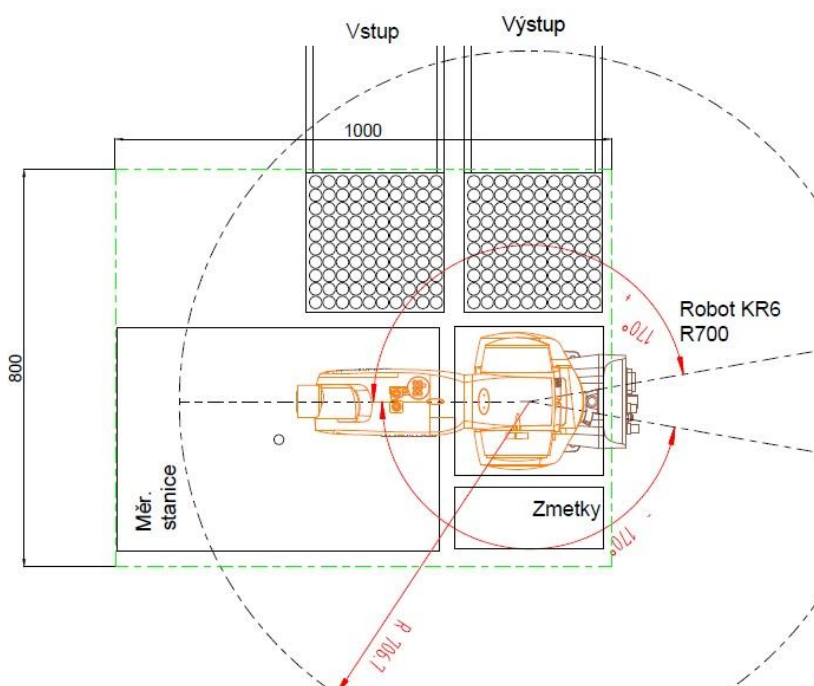


2.3 Varianty uspořádání

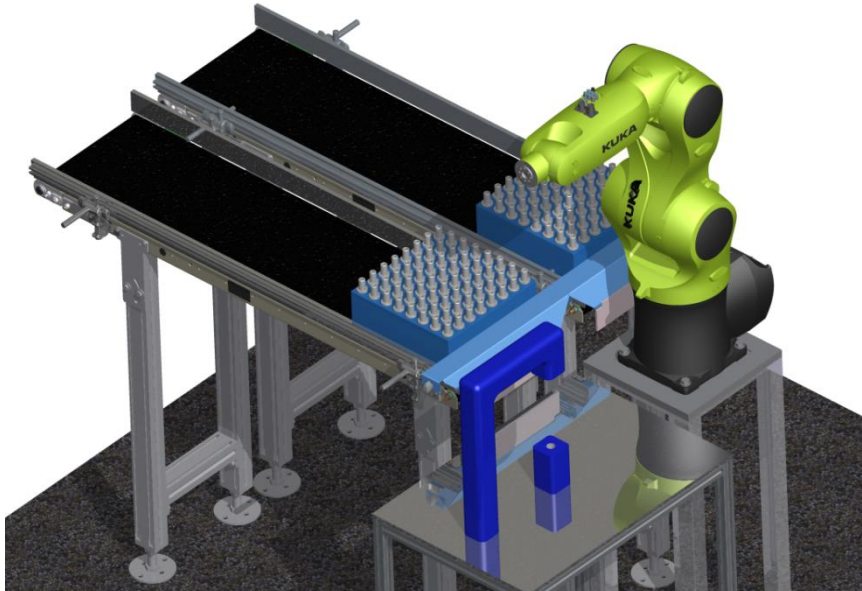
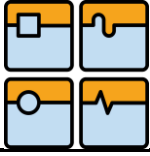
Při návrhu uspořádání pracoviště jsem si připravil více variant, z kterých jsem následně zvolil tu podle mého názoru nejlepší. Jednotlivé varianty se liší jak použitým typem robota, tak i orientací a polohou dopravníků a měřicí stanice. Součástí každé varianty je 2D půdorysný pohled na rozvržení (layout) s popisem jednotlivých komponentů pracoviště a orientační 3D pohled pro lepší představu o vzhledu buňky. V jednotlivých variantách je vyznačen prostor pro zmetky, ale není zde jeho 3D zobrazení, zpracování zmetků bude řešeno v kapitole 2.6. Modely robotů byly použity z [20] a modely dopravníků z [17].

2.3.1 1. varianta

První varianta je řešena jako klasické uspořádání, kde jsou vstupní a výstupní dopravníky souběžně vedle sebe. Tyto dopravníky obsluhuje robot KR6 R700, který je usazen na podstavci tak vysoko, aby se měřicí stůl a dopravníky dostaly do pracovního prostoru robota. Zároveň tato varianta zaujímá nejmenší zastavěnou plochu, ze všech mých variant, a to zhruba 1000x800mm. Výhodou tohoto uspořádání může být právě souběžnost vstupního a výstupního dopravníku.



Obr. 16 Varianta č. 1 – rozvržení



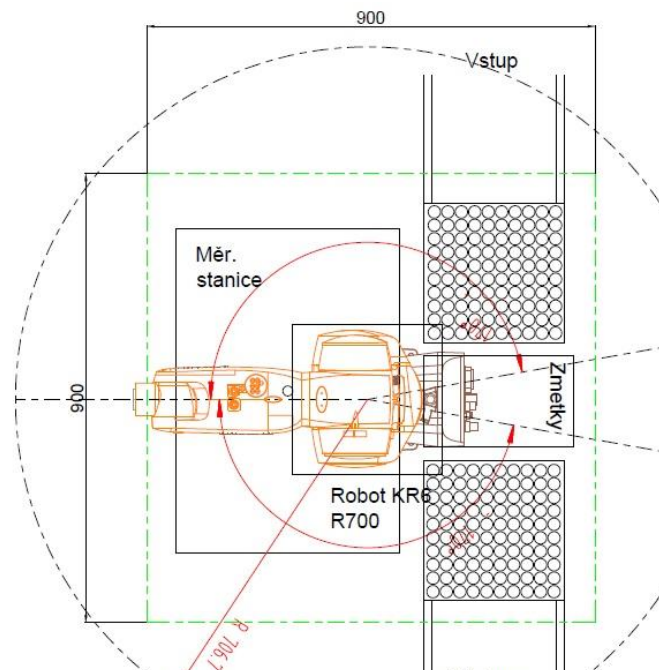
Obr. 17 Varianta č. 1 – 3D pohled [20] [17]

2.3.2 2. varianta

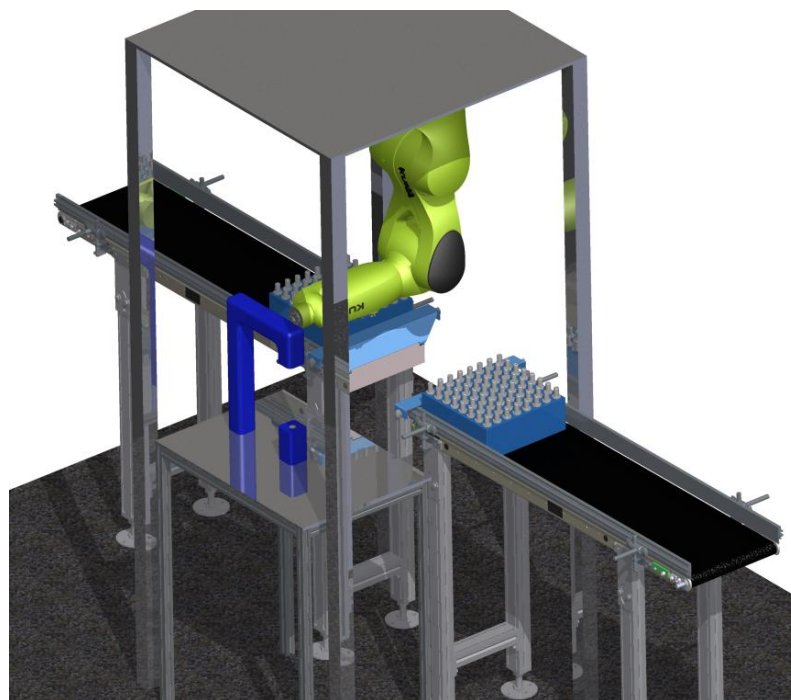
Ve druhé variantě jsem využil možnosti namontovat robota na strop. Při tomto způsobu montáže je potřeba udělat nosnou a dostatečně tuhou konstrukci, na kterou se robot přišroubuje. Robota je možné uchytit také přímo do stropu, pokud je k tomu vhodná výška místnosti. Tato varianta by se dala také modifikovat tak, že by byl robot namontován na stěně, pokud by to bylo dispozičně možné. Díky tomuto způsobu montáže dojde k úspoře místa na podlaze, a proto je zastavěná plocha pro tuto variantu pouze zhruba 900x900mm. Další vlastností této varianty je, že oba dopravníky jsou v jedné linii, což může být výhoda, například pokud bychom chtěli tuto robotickou buňku umístit do výrobní linky.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 18 Varianta č. 2 - rozložení



Obr. 19 Varianta č. 2 – 3D pohled [20] [17]

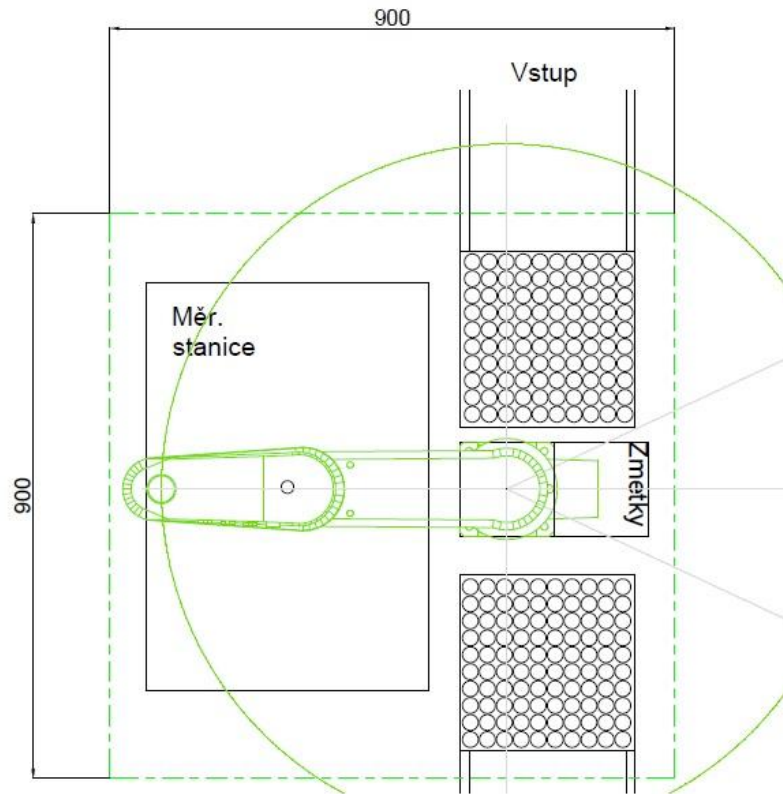
2.3.3 3. varianta

Třetí varianta je uspořádáním podobná 2. variantě, avšak liší se typem použitého robota. V tomto případě jsem zvolil robota SCARA KR5 R550 Z200, tento robot má menší dosah než předchozí typ, ale za to má menší podstavu a je rychlejší. Tato varianta tak kombinuje výhody druhé varianty a rychlost SCARA robota. Drobnou

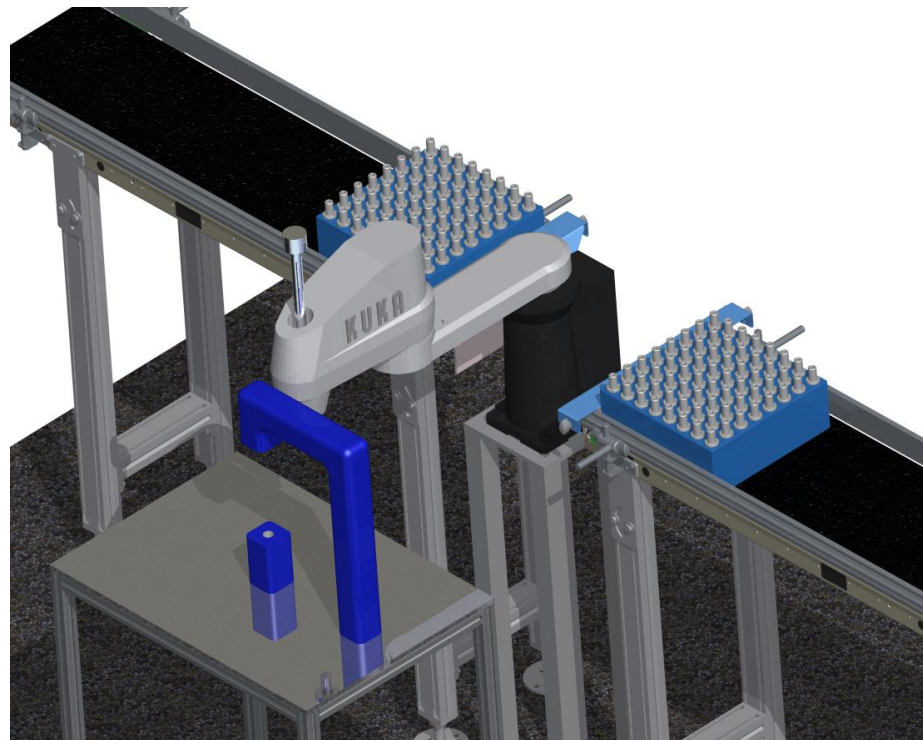


BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

nevýhodou může být omezený dosah robotu v okolí jeho podstavy, ale tento nedostatek lze odstranit vhodnou konstrukcí koncového efektoru.



Obr. 20 Varianta č. 3 - rozložení



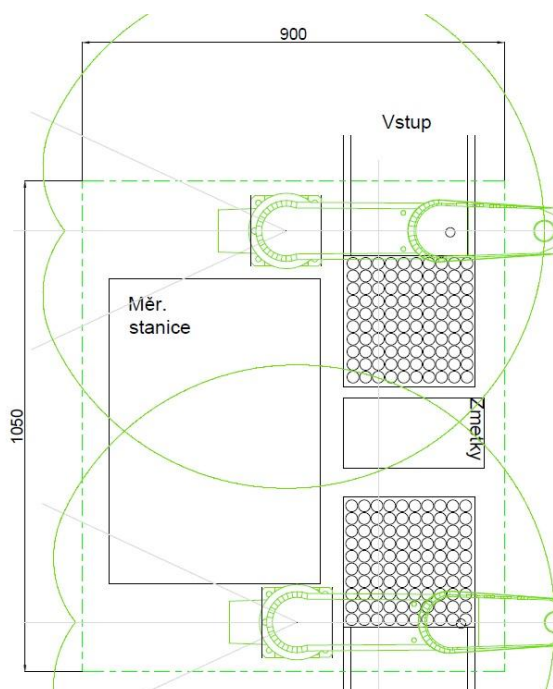
Obr. 21 Varianta č. 3 – 3D pohled [20] [17]

2.3.4 4. varianta

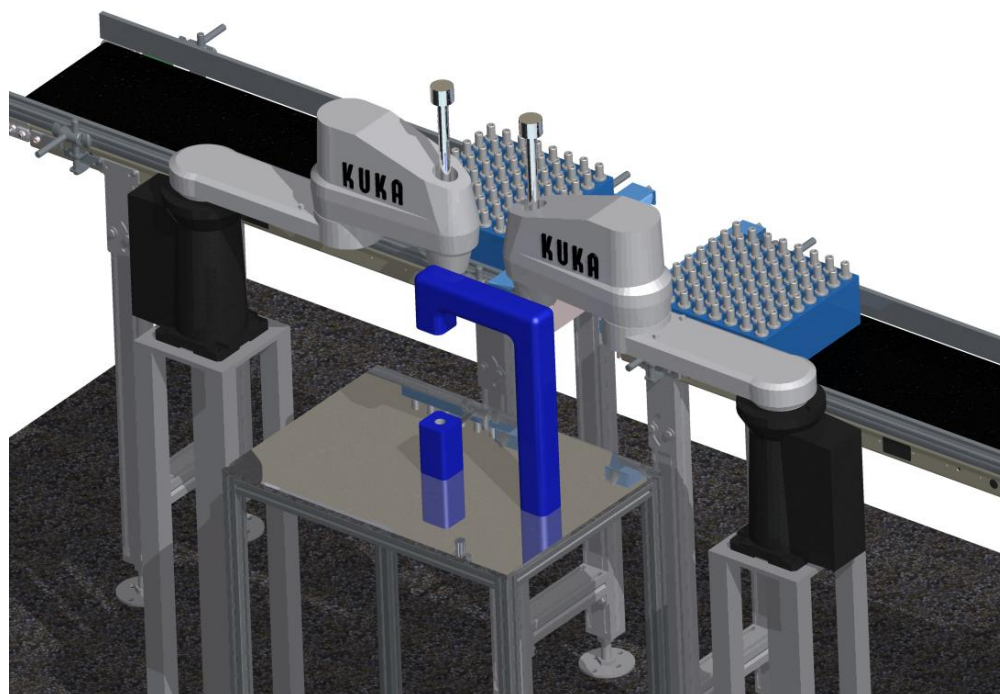
Tato varianta obsahuje dva roboty typu SCARA KR5 R550 Z200, přičemž jeden z nich zajišťuje vkládání výrobků do měřicí stanice a další odebrává výrobky ze stanice a přesouvá je na výstupní paletu nebo mezi zmetky. Jedná se určitě o nejdražší variantu, která by měla opodstatnění pouze, pokud by bylo potřeba zvýšit rychlost výroby. Pokud bychom chtěli i nadále zvyšovat produktivitu, bylo by nutné použít více měřících stanic.



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Obr. 22 Varianta č. 4 – rozložení



Obr. 23 Varianta č. 4 – 3D pohled [20] [17]

2.4 Výběr varianty

Při výběru nejvhodnější varianty jsem si musel nejprve zvolit parametry, podle kterých budu jednotlivé varianty hodnotit. Prvním a možná i nejdůležitějším parametrem je cena. Tento parametr bych ještě rozdělil na cenu za konstrukci a na

cenu za robota/y. Cenou za konstrukci rozumím náklady spjaté s výrobou podstavců pod roboty nebo konstrukce pro jejich upevnění atd. Nutno podotknout, že do této ceny nezahrnuji náklady spojené s bezpečností pracoviště, jelikož řešení otázky bezpečnosti navrhovaného pracoviště není cílem této práce. Pořizovací náklady na robota budou bezpochyby největší položkou v celé kalkulaci. Proto se budu snažit upřednostnit toto kritérium při volbě varianty.

Čas výroby neboli rychlost, s jakou dokáže výsledná buňka kontrolovat a přemísťovat výrobky, je dalším důležitým parametrem. Tento parametr je většinou udáván ze strany zadavatele, protože musí odpovídat například taktu výrobní linky nebo rychlosti produkce výrobků. Určení tohoto parametru, pro variantu návrhu, je poněkud problematické. Pro počáteční orientaci je možno využít zkušeností konstruktéra a tento čas odhadnout. Tento způsob může být nepřesný. Přesnější hodnoty nám nabídne grafická simulace (např. v KUKA Sim.Pro). Hodnoty nejvíce podobné reálným podmínkám nám ukáže až program vytvořený ve virtuálním kontroleru.

Dalším kritériem je zastavěná plocha. Jedná se o plochu, kterou výsledná buňka zabere ve výrobní hale. Z ekonomického hlediska je dobré, aby byl prostor ve výrobní hale co nejvíce využit.

Porovnání jednotlivých variant podle těchto kritérií jsem zapsal do tabulky č. 6. Vyhodnocením této tabulky jsem zjistil, že nejlépe vychází varianta číslo 3.

Tab. 6 Porovnání variant

| | Varianta č.1 | Varianta č.2 | Varianta č.3 | Varianta č.4 |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Cena robota | + | + | ++ | - |
| Cena za konstrukci | ++ | - | ++ | + |
| Rychlost operace | + | + | ++ | +++ |
| Zas. plocha | ++ | + | + | - |

2.5 Koncový efektor

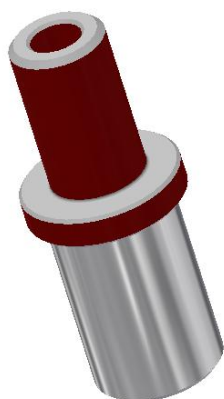
Zabývat se konstrukcí efektoru pro tuto manipulaci není cílem této práce, přesto bych však rád zdůraznil některé důležité požadavky na tuto část robota.

2.5.1 Typ efektoru

Vzhledem ke tvaru a hmotnosti manipulovaného výrobku by bylo nejlepší zvolit mechanické chapadlo, které je určeno pro uchopování rotačních ploch. Plochy, které by se daly použít pro uchopení, jsem vyznačil červeně na obr. č. 24. Za rotační plochu, která je ve výše zmíněném obrázku umístěna dole, nelze uchopovat, jelikož se jedná o povrch lapovaný na přesný rozměr. Použití chapadla, které by umožnilo uchopení za vnitřní otvor, není vhodné. Protože otvor má menší rozměr, než jsou standardně vyráběné rozměrové řady, proto by se musel vyrobít na zakázku speciální tvar chapadel. Uchycení za největší průměr není možné kvůli nedostatku místa okolo objektu na paletě. Pro uchopení pomocí podtlaku a přísavky nemá výrobek dostatečně velkou rovinnou plochu. Jako další varianta uchopení by mohlo být použití měchových chapadel od firmy FESTO, bohužel ale jejich nosnost je menší než hmotnost zadaného objektu. Výrobou mechanických chapadel se zabývá celá



řada výrobců, například FESTO, SCHUNK, SOMMER,... Čelisti takto koupených chapadel jsou universální, a proto je potřeba na ně připevnit např. gumové podložky pro vymezení správného stisku výrobku čelistmi. Grafické znázornění chapadla s uchopeným výrobkem je na obrázku č. 25.



Obr. 24 Možné uchopovací plochy



Obr. 25 Příklad uchopení [21]

2.5.2 Tvar efektoru

Vkládací prostor do měřicí stanice je omezen horní částí stanice. Prostor mezi spodní a horní částí stanice je menší než část robota s efektorom a uchopeným výrobkem. Grafická ilustrace tohoto problému je na obrázku č. 26. Proto bude nutné chapadlo na efektoru umístit dostatečně mimo poslední osu robota, aby bylo možné bezpečně zaplohotovat výrobek do stanice. Velikost tohoto odsazení musí být dostatečná, aby se rameno robota nedostalo do kontaktu s horní částí měřicí stanice.




Obr. 26 Neodsazený efektor [20] [21]



Obr. 27 Odsazený efektor [20] [21]

2.5.3 Dvojitý efektor

Pro zvýšení produktivity by bylo možné využít dvojitý efektor, který je tvořen dvěma chapadly, jak je vidět na obr. č. 28. Největší výhodou je možnost mít uchopeny dva objekty zároveň, a tudíž po odebrání změřeného objektu z měřicí stanice vložit ihned další objekt do stanice. A poté teprve uložit změřený objekt na příslušné místo,

| | | |
|---|--|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 37 |
| | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE | |

popřípadě připravit další objekt ze vstupní palety, aby byla možná pouze další výměna. Tímto systémem lze optimalizovat využití měřicí stanice tak, aby časové prodlevy mezi měřeními byly co nejmenší.

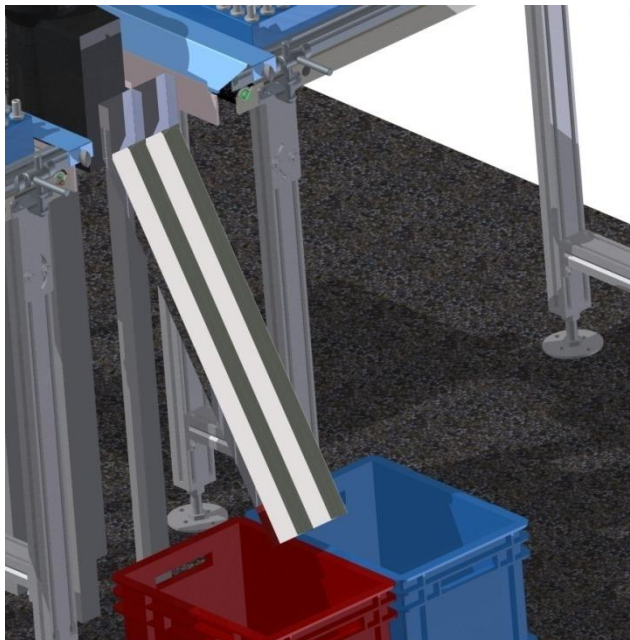


Obr. 28 Dvojitý efektor [21]

Nevýhodou tohoto systému je značně složitější naprogramování, díky nutnosti rozlišovat, jaký objekt je uchopen ve kterém chapadle, a kvůli jeho možné kolizi s ostatními objekty na paletě při paletizaci. Proto budu v kapitole o algoritmu uvažovat použití pouze efektoru s jedním chapadlem.

2.6 Ukládání zmetkových objektů

Součástí zadání je také, že pokud je součást vyhodnocena jako zmetková, má být uložena na jiné místo než dobré součásti. Jelikož měřicí jednotka dokáže rozpoznat, zda se jedná o opravitelný nebo neopravitelný zmetek, je možné ukládat je zvlášť, pokud je to vyžadováno. V praxi se používají především skluzy, po kterých jsou zmetkové součásti dopravovány do beden. Tyto bedny je možno opatřit čidlem, které bude hlídat naplnění bedny a v případě potřeby signalizuje obsluze, že je potřeba bednu vyprázdnit. Dále je možné bednu naplnit měkkým materiálem, aby nedošlo ke zbytečnému poškození opravitelných zmetků. Další možnosti jak nakládat s opravitelnými zmetky je jejich skládání na speciální paletu, tento způsob je vhodný pouze, pokud je těchto zmetků více a chceme je dále automaticky zpracovávat. V zadání není specifikováno, jaké je očekávané procento zmetků ve výrobě. Proto bude v mém případě stačit řešení pomocí skluzů, jeden pro opravitelné a druhý pro neopravitelné zmetky.



Obr. 29 Ukázka skluzů

3 Obecný algoritmus

Před zahájením samotného programování robota je dobré si uvědomit pořadí jednotlivých operací a optimalizovat jejich pořadí tak, aby co nejlépe navazovaly na předchozí úkony a plnily účel operace. K tomuto účelu nám poslouží vývojový diagram, do kterého si můžeme rozvrhnout celý algoritmus dané operace.

3.1 Popis funkce

Nejprve by měl robot uchopit ze vstupní palety jeden výrobek a ten přesunout do měřicí stanice. Jakmile tato stanice dokončí kontrolu rozměru, robot přemístí tento výrobek podle výsledku měření buďto na výstupní paletu nebo mezi zmetky. Celý tento proces se opakuje, dokud jsou výrobky na vstupní paletě, nebo se nezaplní výstupní paleta. V takovém případě dá řídicí systém povel k výměně palety.

3.2 Paletizace a depaletizace

Proces paletizace a depaletizace jde řešit několika způsoby. Při malém počtu objektů, a pokud se jedná pouze o 2D, můžeme použít ručního naprogramování jednotlivých pozic na paletě. Jestliže ale máme více objektů případně 3D paletování, byl by tento postup, zapisování jednotlivých pozic, značně neefektivní a v některých případech i nerealizovatelný. Proto můžeme využít expertního programování popř. paletizačních softwarů, které jsou zaměřeny na efektivní naprogramování paletizační úlohy. Příkladem takového softwaru může být KUKA Pallettech. Při použití tohoto programu nám stačí zadat rozměry objektu a rozměry palety a tento systém sám navrhne nejvýhodnější postup (např. skládání krabic na paletu).

3.3 Vstupy a výstupy

Další částí přípravy algoritmu je definování potřebných vstupů a výstupů, které systém potřebuje, aby mohl správně pracovat. Vstupy většinou dodávají informaci o poloze určité části pracoviště a výstupy slouží k udělení pokynu např. k výměně palety nebo zahájení měření. Tyto vstupy a výstupy jsou uvedeny v tabulce č. 7 a č. 8.

Tab. 7 Vstupy

| Název proměnné | Popis |
|----------------|-------------------------------|
| Di1 | Start výroby |
| Di2 | Vstupní paleta je připravena |
| Di3 | Výstupní paleta je připravena |
| Di4 | Dobrý/zmetek |
| Di5 | Dokončení měření |
| Di6 | Opravitelný/neopravitelný |

Tab. 8 Výstupy

| Název proměnné | Popis |
|----------------|------------------------|
| Do1 | Potvrzení stop výroby |
| Do2 | Start měření |
| Do3 | Výměna vstupní palety |
| Do4 | Výměna výstupní palety |

3.4 Vývojový diagram

Celý proces začíná inicializací proměnných, potřebných pro celý cyklus. Poté následuje startovací cyklus, který slouží k zjištění, jestli je start výroby potvrzen signálem Di1. Pokud je start výroby potvrzen, následuje kontrola, zda je vstupní paleta připravena. Další dva procesy jsou podrobně popsány v následujících kapitolách. Poslední dva rozhodovací procesy rozdělují strom procesu podle výsledku měření. Druhý z nich je nutný pouze v případě, že chceme rozdělit zmetkové výrobky na opravitelné a neopravitelné.

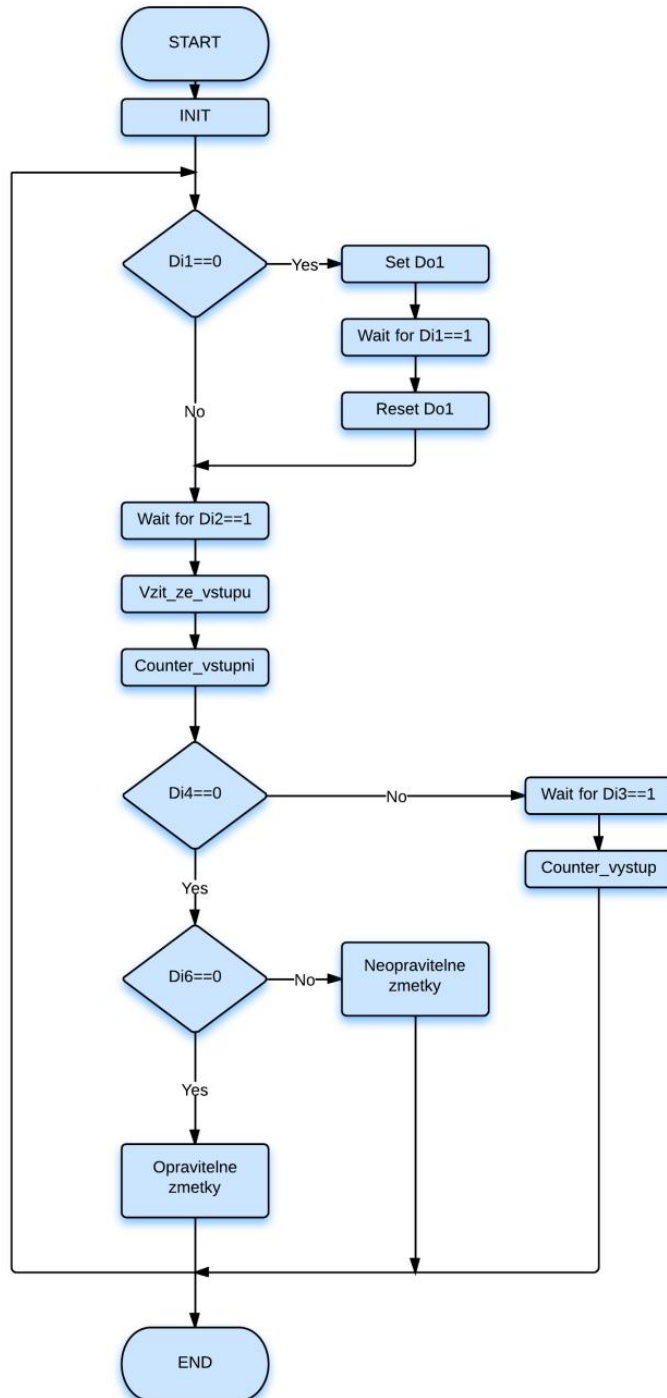


Diagram 1 Hlavní algoritmus

3.4.1 Proces Vzit_ze_vstupu

V tomto procesu dojde nejprve k depaletizaci výrobku (blok DEPALETIZATION). Depaletizace je proces, při kterém řídicí systém rozhodne, který objekt na vstupní paletě bude vybrán pro manipulaci. Toto rozhodnutí je založeno na informacích o paletě (počet řad, počet sloupců, počet zbývajících výrobků,...). Detailním popisem

tohoto konkrétního mechanismu se nebudu v této práci zabývat. Po tomto kroku následuje pohyb robota na pozici aktuálně vybraného objektu a jeho uchopení. Uchopení (blok GRASP) zahrnuje ovládání chapadla i kontrolu upnutí. Posledním krokem je pohyb do bezpečné vzdálenosti od ostatních objektů.

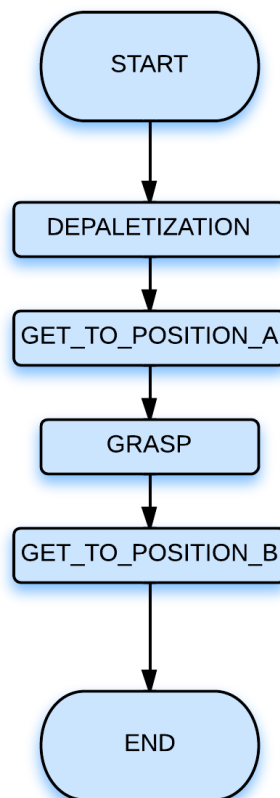


Diagram 2 Proces Vzit_ze_vstupu

3.4.2 Proces Counter_vstupni

Tento proces má dvě důležité funkce, první je podproces Vlozeni_do_mereni, který bude detailně popsán dále. Druhou důležitou funkcí je cyklus, který po každém odebraném objektu ze vstupní palety počítá, kolik kusů objektů bylo odebráno ze vstupní palety. Pokud je odebrán i poslední kus, dojde k vyslání signálu pro výměnu vstupní palety. Tato výměna může být provedena ručně nebo automaticky.

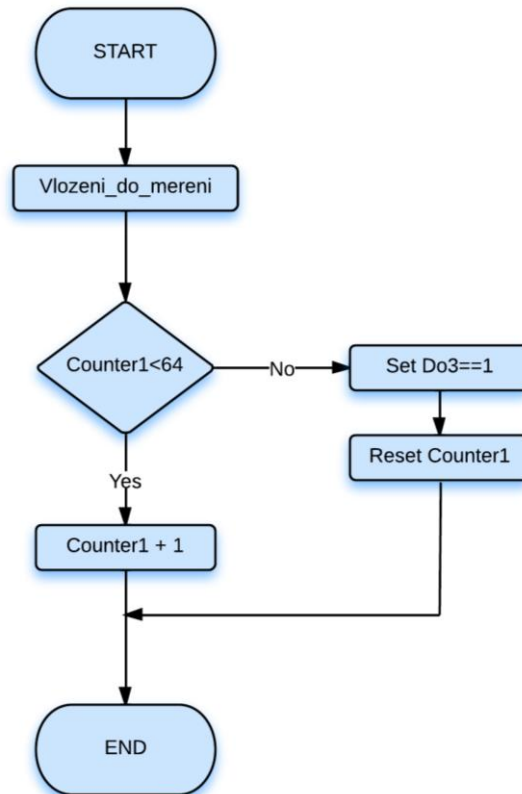


Diagram 3 Proces Counter_vstupni

3.4.3 Podproces Vlozeni_do_mereni

Úkolem toho procesu je řízení měřící části operace. Po přesunutí objektu do měřícího zařízení dojde k jeho uvolnění (UNGRASP) a pohybu ramena do bezpečné vzdálenosti od měřícího zařízení. Následuje vyslání signálu pro zahájení měření a čekání na jeho dokončení. Jakmile je objekt změřen, robot ho uchopí a přesune do bezpečné vzdálenosti od měřícího zařízení.

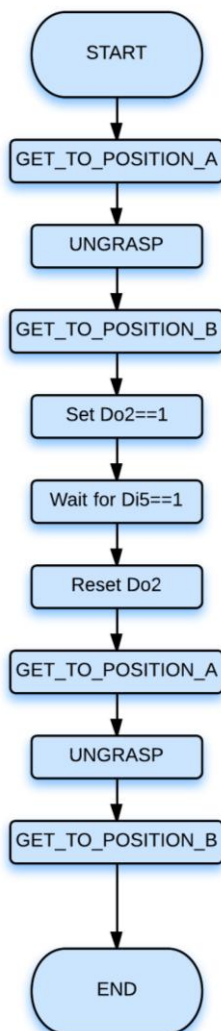


Diagram 4 Podproces Vlozeni_do_mereni

3.4.4 Proces Counter_vystup

Struktura tohoto procesu je podobná procesu Counter_vstup. Rozdíl tvoří pouze cyklus, který počítá počet uložených objektů na výstupní paletu. Po naplnění této palety dojde k vyslání signálu pro výměnu výstupní palety. O zaplnění této palety se stará podproces Paletization_vystup, který pracuje na obdobném principu jako depaletizace vstupní palety.

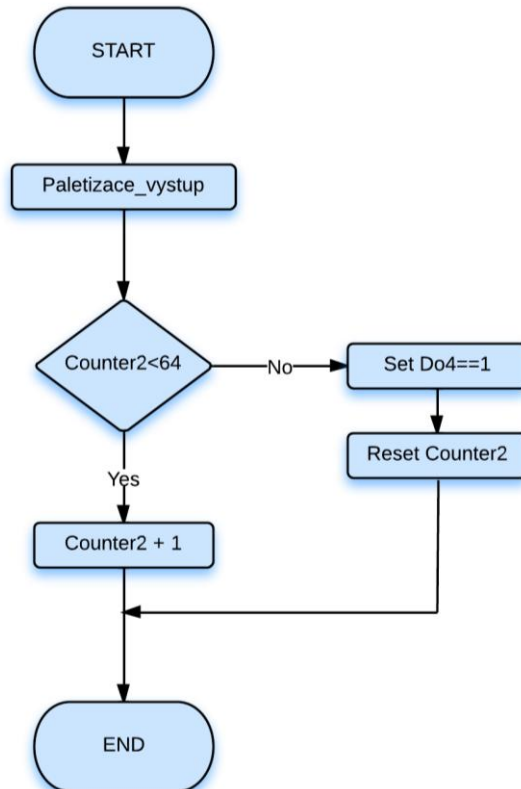


Diagram 5 Proces Counter_vystup

4 Simulace

4.1 Důvody simulace

Simulace pomocí grafických softwarů je užitečným nástrojem při navrhování robotické manipulace. Umožňuje nám vytvoření 3D modelu rozložení s použitím integrovaných modelů robotů, dopravníků atd., které jsou součástí softwaru. Motivací pro vytváření simulací robotických pracovišť je zjištění, zda nedojde ke kolizi pohybujících se částí robotického manipulátoru se stojícími částmi a jestli je pracovní prostor robota dostatečný pro manipulaci s objektem. Dalším parametrem, který jsme schopni využít z této simulace, je doba manipulace. V neposlední řadě se dá využít grafické znázornění pro prezentaci vzhledu pracoviště zákazníkovi.

4.2 Software

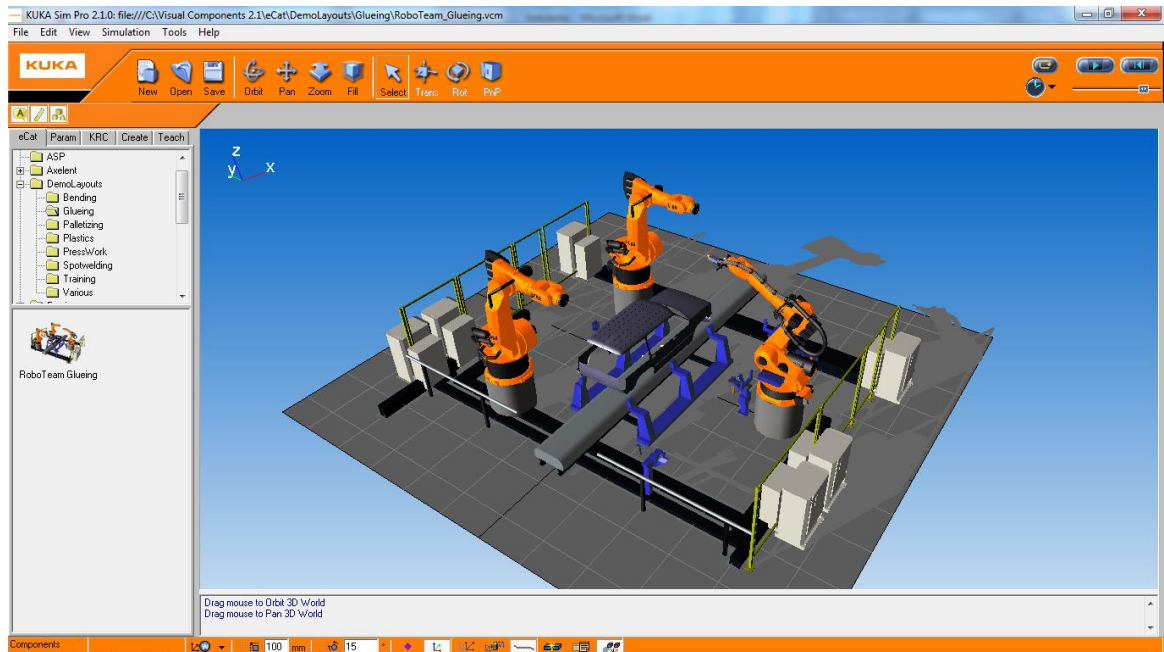
Každý výrobce průmyslových robotů nabízí vlastní software, který je uzpůsoben pro použití robotů od daného výrobce. Tudíž obsahuje pouze modely robotů od jednoho výrobce. Příklady takovýchto programů jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

4.2.1 KUKA Sim.Pro

KUKA Sim.Pro je program od firmy KUKA, který umožňuje tvorbu uspořádání a simulací s roboty KUKA. Tento software byl také použit pro simulaci zadané



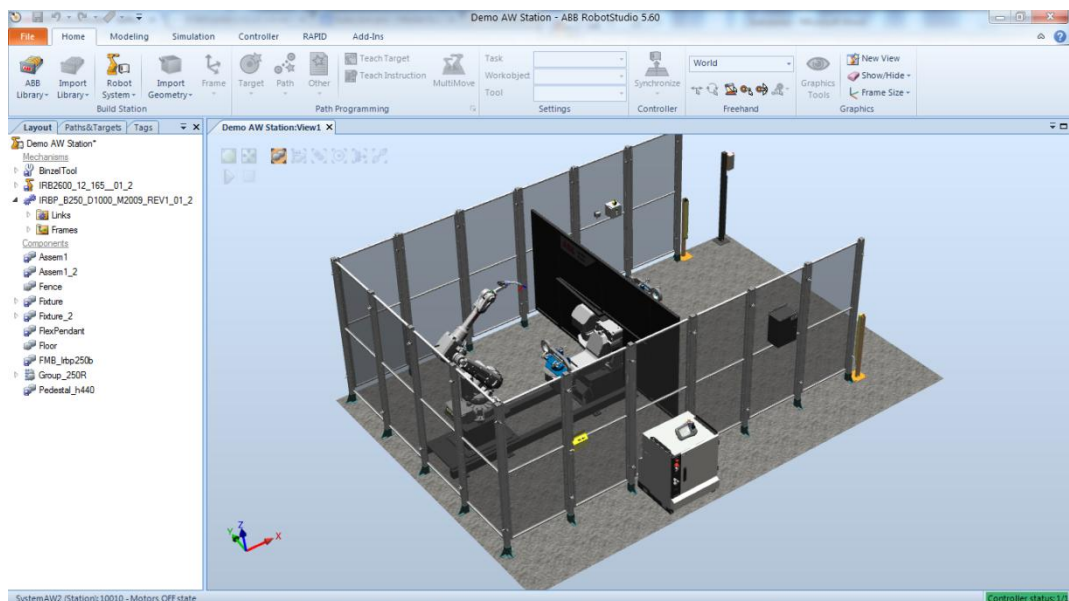
manipulační úlohy. Za poskytnutí licence na tento software, bych chtěl tímto poděkovat firmě KUKA Roboter CEE GmbH. Ukázková simulace uspořádání vytvořená v tomto softwaru je na obrázku č. 30. [22]



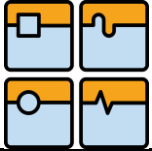
Obr. 30 Ukázka prostředí KUKA Sim Pro 2.1 [22]

4.2.2 Robotstudio

Robotstudio je software od firmy ABB, slouží pro simulaci a offline programování. Tento program je výhradně určen pro návrh pracovišť s roboty ABB, proto jsem ho pro simulaci nepoužil. [23]



Obr. 31 Ukázka prostředí ABB Robotstudio 5.6 [23]



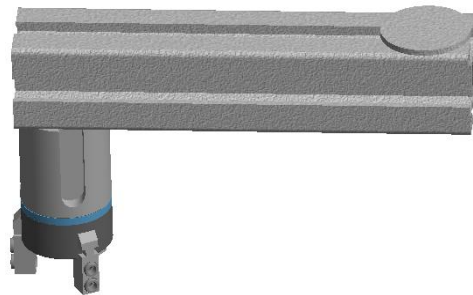
4.3 Simulace zadané manipulační úlohy

4.3.1 Modely pro simulaci

Pro simulaci bylo nejprve nutné vytvořit modely objektu, palety a podstavce pod průmyslového robota. Modely jsem vytvořil v softwaru Inventor od firmy Autodesk, pro který mám registrovanou školní licenci. Modely dopravníků a robota byly importovány přímo z knihovny komponent, která je součástí použitého softwaru. Model dopravníku je zvolen pouze jako názorná ukázka do simulace a jeho návrh není součástí zadání této práce.

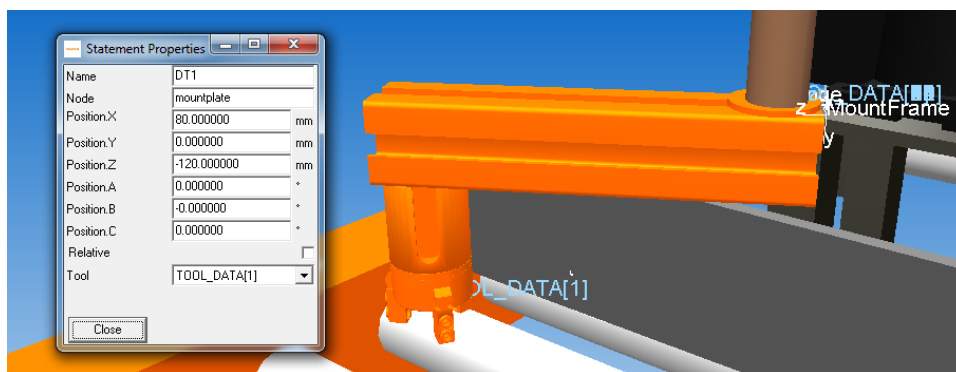
4.3.2 Rozložení a nástroj

Po importování všech součástí jsem začal s rozmístováním podle návrhu. Rozhodl jsem se, že provedu simulaci pouze pro variantu rozložení č. 3, jelikož jsem ji vybral jako nejlepší variantu v kapitole č. 2.4. Dalším krokem bylo definovat nástroj, pro potřeby simulace jsem vytvořil model koncového efektoru, jenž můžete vidět na obr. č. 32. Konstrukce tohoto efektoru není v této práci řešena, ale pro simulaci bylo nutno vytvořit jeho přibližný model.



Obr. 32 Model koncového efektoru pro simulaci [21]

Tento efektor jsem pomocí nástroje „Plug and Play“, připojil k přírubě robota. Dále bylo potřeba nastavit posunutí souřadného systému z přírubky na plochu chapadla. Hodnoty tohoto posunutí jsou společně s vyobrazením posunutí na obr. č. 33.

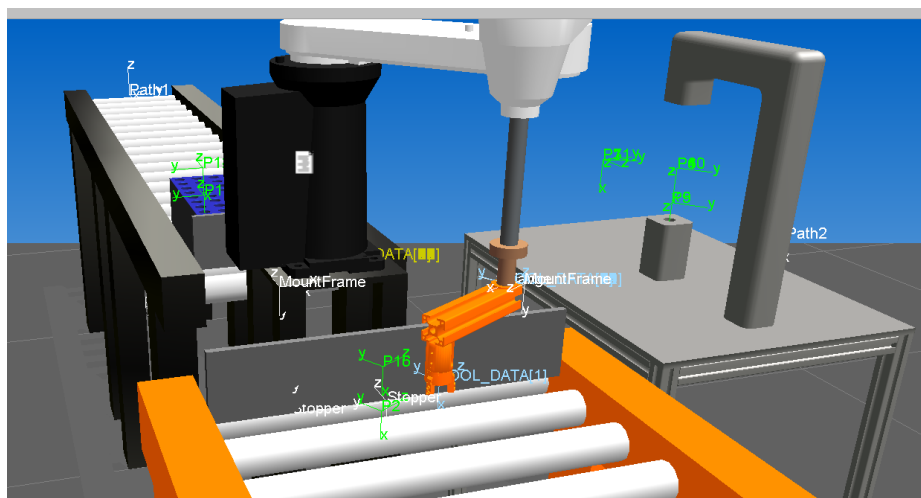


Obr. 33 Posunutí souřadného systému nástroje [22]

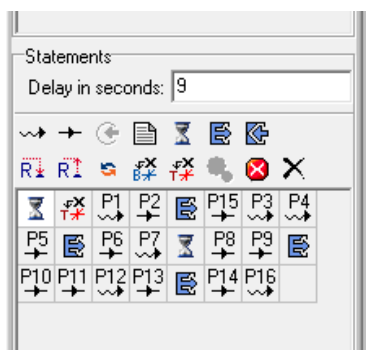


4.3.3 Programování

Následujícím krokem bylo programování samotné operace. Při tomto kroku jsem se držel obecného algoritmu (detailně probraného v kapitole 3). Zároveň bylo programování simulace zjednodušeno na manipulaci pouze s jedním objektem a byla vynechána většina vstupů a výstupů, kromě uchopování. Důležité bylo dodržet bezpečné najíždění a vyjíždění při depaletizaci a při pohybu kolem měřicí stanice. Na obr. č. 34 jsou vyznačeny body, po kterých se pohybuje koncový efektor.



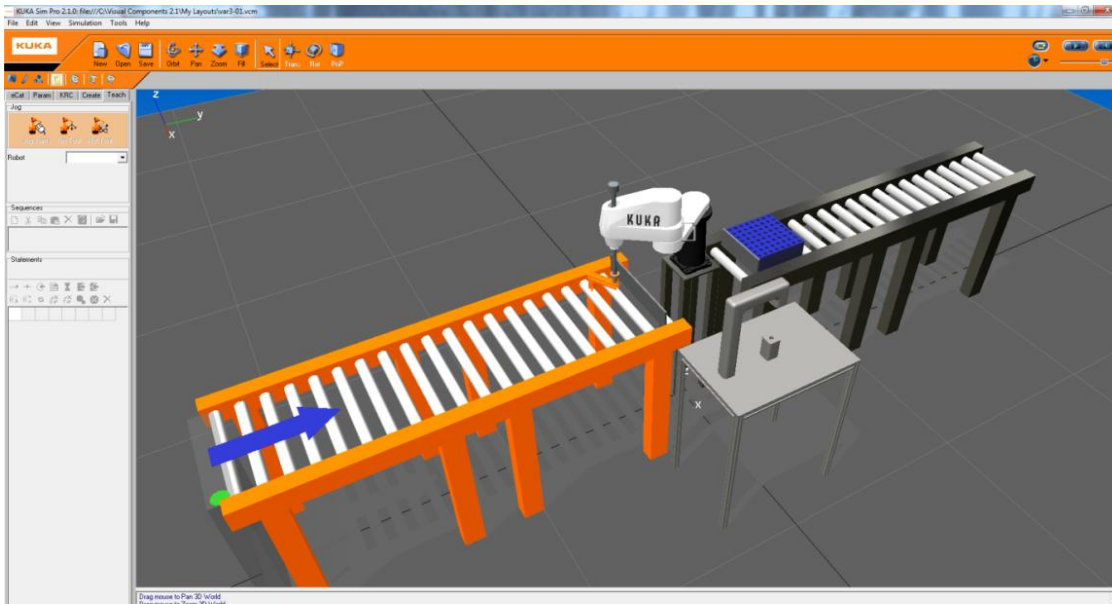
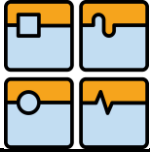
Obr. 34 Body pro pohyb efektoru [22]




Obr. 35 Posloupnost simulačních příkazů [22]

4.3.4 Vyhodnocení

Díky této simulaci jsem zjistil, že dosah ramena robotu je dostatečný i pro nejvzdálenější objekty na paletách. A současně je okolo pohybujících se částí dostatek volného prostoru tak, aby nedošlo ke kolizi se stojícími částmi. Bohužel se mi nepodařilo zjistit čas, za který buňka stihne zkontrolovat jednu součást, pro zjištění tohoto údaje bych musel připojit program k virtuálnímu kontroleru a provést simulaci programu v něm. Celkový pohled na simulaci pracoviště je na obrázku č. 36.



Obr. 36 Celkový pohled na simulaci [22]

| | | |
|---|--|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 49 |
| | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE | |

Závěr

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout rozložení robotické buňky pro manipulační operaci.


V teoretické části práce (kap. 1) jsem uvedl základní typy robotů, které se používají pro manipulaci. Dále byly popsány jednotlivé možnosti uchopování objektů, které se používají v praxi. Poslední podkapitola teoretické části byla věnována dodržování bezpečnosti na robotických pracovištích.

Další část práce (kap. 2) byla zaměřena na konkrétní návrh pracoviště. Tento návrh byl proveden na základě zadaných parametrů a pro zadanou operaci, kterou byla kontrola rozměru výrobků. Vytvořil jsem si více variant rozložení, abych mohl porovnat rozdíly mezi jejich vlastnostmi a určit vhodnou variantu. Mnou určená nejlepší varianta (kap. 2.4), však nemusí korespondovat s každou situací, proto je vždy nutné zohlednit reálnou situaci ve firmě. Návrhem koncového efektoru pro tuto manipulaci se tato práce nezabývala, ale nejvýhodnější by byl efektor se dvěma mechanickými chapadly. Co se týče robotické části pracoviště, tak jsem vybíral mezi šesti-osým robotem a čtyř-osým SCARA robotem.

Pro vybraný návrh pracoviště byl dále vypracován obecný algoritmus (kap. 3), který popisuje posloupnost jednotlivých pohybů a operací. Tento algoritmus by mohl sloužit jako základ pro naprogramování celého manipulačního procesu.


Poslední část této práce (kap. 4) se zabývala vytvořením simulace robotického pracoviště. Simulace nám ukázala, že robot dokáže obsluhovat i nejbližší potřebná místa a že manipulace může bez problémů fungovat. Jediným nedostatkem simulace bylo, že se mi nepodařilo zjistit celkový čas kontroly jedné palety objektů. Pro tento účel by se musela simulace v KUKA Sim.Pro propojit k virtuálnímu kontroleru robotu prostřednictvím softwaru KUKA Office.Lite. Tento software, ale nebyl k dispozici.

Dalším možným vylepšením a doplněním této práce by mohlo být například vyřešení bezpečnosti, konstrukce koncového efektoru nebo programování celé operace.

| | | |
|---|--|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 50 |
| | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE | |


Seznam použitých zdrojů

- [1] Industrial Robot Statistics. *International federation of robotics* [online]. 2013 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty I. Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů. PRaM*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1993, 189 s. ISBN 80-214-0526-0.
- [3] MACEK, J. Návrh pracoviště pro řezání tvarových objektů z polystyrenu průmyslovým robotem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.
- [4] BĚLOHOUBEK, Pavel a Zdeněk KOLÍBAL. *Průmyslové roboty IV. Projektování výrobních systémů s PRaM*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1993, 88 s. ISBN 80-214-0532-5.
- [5] WOLF, Andreas, Ralf STEINMANN a Henrik SCHUNK. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. Berlin: Springer, 2005, 248 p. ISBN 35-402-5657-1.
- [6] PIRES, J. *Industrial robots programming: building applications for the factories of the future*. New York: Springer, 2007, xiv, 282 s. ISBN 03-872-3325-3.
- [7] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [8] KUKA ROBOTER GMBH. *KR AGILUS sixx specification* [online]. 2013 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/res/sps/e6c77545-9030-49b1-93f5-4d17c92173aa_Spez_KR_AGILUS_sixx_en.pdf
- [9] KUKA ROBOTER GMBH. *KR 5 scara R350, R550 Specification* [online]. 2011 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/res/sps/e6c77545-9030-49b1-93f5-4d17c92173aa_Spez_KR_5_scara_en.pdf
- [10] KUKA Robotics. *KUKA Roboter CEE GmbH* [online]. 2014 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/
- [11] ABB IRB 360. *ABB Robotics* [online]. 2014 [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www02.abb.com/global/seabb/seabb364.nsf/bf177942f19f4a98c1257>

| | | |
|---|--|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 51 |
| | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE | |

148003b7a0a/3f9fe798f57a0abfc12574510025e2b8/\$FILE/IRB+360+FlexPicer1.jpg http://www.festo.com/rep/nl-be_be/assets/swf/dhps_startbild.jpg

- [12] PETRŮ, Pavel. *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci v praxi*. Praha: Dashöfer, 2011-. ISSN 18047343. 4x ročně.
- [13] Vakuová technika. *FESTO* [online]. 2014 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: http://www.festo.com/cms/cs_cz/9523.htm
- [14] Robotické pracoviště. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/120/12042.jpg>
- [15] Bezpečnostní světelné závory. *CONTRA BRNO* [online]. 2010 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.contra-brno.cz/produkty-detail.php?id=45>
- [16] Safety laser scanners. *SICK* [online]. 2014 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: http://www.sick.com/cz/cs-cs/home/products/product_portfolio/optoelectronic_protective_devices/Pages/safetylaserscanners.aspx
- [17] Conveyor configurator. *QC Industries LLC* [online]. 2014 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.qconfig.com/QCConfig/Authenticate/>
- [18] KR 6 R700 SIXX (KR AGILUS). *KUKA* [online]. 2014 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/products/industrial_robots/small_robots/kr6_r700_sixx/start.htm
- [19] KUKA KR 5 scara R550. *KUKA* [online]. 2014 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/products/industrial_robots/special/scara_robots/kr5_scara_r550/start.htm
- [20] KUKA Středisko pro stahování dat. *KUKA* [online]. 2014 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/downloads/search/?type=current&sc_META_02=CAD
- [21] Mechanická chapadla. *FESTO* [online]. 2014 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: http://www.festo.com/cat/cs_cz/products__69071

| | | |
|---|--|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 52 |
| | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE | |

- [22] KUKA Sim.Pro. *KUKA* [online]. 2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/products/software/kuka_sim/kuka_sim_detail/PS_KUKA_Sim_Pro.htm
- [23] ABB Robotstudio. *ABB* [online]. 2014 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.abb.com/product/seitp327/0f38a5e7d7f67a5dc12573e60055b805.aspx>
- [24] HRADIL, J. *Koncové Efektory v Průmyslové Robotice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 77 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.
- [25] ČERNÝ, J. *Manipulační operace s průmyslovými roboty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 56 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.
- [26] DLOUHÝ, R. *Návrh robotického pracoviště pro mazání komponent*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 48 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Pochylý.
- [27] PAVLICA, J. *Paralelní kinematické struktury průmyslových robotů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 42 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr..

Seznam obrázků

| | | |
|---------|---|----|
| Obr. 1 | Zobrazení os u robota KUKA KR 6 [8] | 19 |
| Obr. 2 | Příklad 6DOF robota – KUKA KR 6-2 [10] | 19 |
| Obr. 3 | Zobrazení os u robota – KUKA SCARA [9] | 19 |
| Obr. 4 | Příklad SCARA robota – KUKA SCARA KR5 R550 [18] | 19 |
| Obr. 5 | Příklad paletizačního robota – KUKA KR 40 PA [10] | 20 |
| Obr. 6 | Ukázka robotu ABB Flexpicker v praxi [11] | 21 |
| Obr. 7 | Ukázka mechanického chapadla [21] | 22 |
| Obr. 8 | Ukázka podtlakového uchopování [13] | 23 |
| Obr. 9 | Příklad použití ochranného hrazení [14] | 25 |
| Obr. 10 | Ukázka světelných závor [15] | 25 |
| Obr. 11 | Laserový skener SICK S 3000 [16] | 26 |
| Obr. 12 | Snímané pole [16] | 26 |
| Obr. 13 | Objekt pro manipulaci | 26 |
| Obr. 14 | Robot KUKA KR6 SIXX R700 [18] | 28 |
| Obr. 15 | Robot KUKA KR 5 SCARA R550 Z200 [19] | 28 |
| Obr. 16 | Varianta č. 1 – rozvržení | 29 |
| Obr. 17 | Varianta č. 1 – 3D pohled [20] [17] | 30 |
| Obr. 18 | Varianta č. 2 - rozložení | 31 |
| Obr. 19 | Varianta č. 2 – 3D pohled [20] [17] | 31 |
| Obr. 20 | Varianta č. 3 - rozložení | 32 |
| Obr. 21 | Varianta č. 3 – 3D pohled [20] [17] | 33 |
| Obr. 22 | Varianta č. 4 – rozložení | 34 |
| Obr. 23 | Varianta č. 4 – 3D pohled [20] [17] | 34 |
| Obr. 24 | Možné uchopovací plochy | 36 |
| Obr. 25 | Příklad uchopení [21] | 36 |
| Obr. 26 | Neodsazený efektor [20] [21] | 36 |
| Obr. 27 | Odsazený efektor [20] [21] | 36 |

| | | |
|---------|---|----|
| Obr. 28 | Dvojitý efektor [21]..... | 37 |
| Obr. 29 | Ukázka skluzů | 38 |
| Obr. 30 | Ukázka prostředí KUKA Sim Pro 2.1 [22] | 45 |
| Obr. 31 | Ukázka prostředí ABB Robotstudio 5.6 [23] | 45 |
| Obr. 32 | Model koncového efektoru pro simulaci [21]..... | 46 |
| Obr. 33 | Posunutí souřadného systému nástroje [22]..... | 46 |
| Obr. 34 | Body pro pohyb efektoru [22]..... | 47 |
| Obr. 35 | Posloupnost simulačních příkazů [22] | 47 |
| Obr. 36 | Celkový pohled na simulaci [22] | 48 |

Seznam tabulek, diagramů a grafů

| | | |
|-----------|--|----|
| Tab. 1 | Možnosti uchopování objektů [5] | 22 |
| Tab. 2 | Bezpečnostní normy [8] | 24 |
| Tab. 3 | Zadané parametry | 27 |
| Tab. 4 | Základní parametry KUKA KR6 SIXX R700 [18]..... | 28 |
| Tab. 5 | Základní parametry KUKA KR 5 SCARA R550 [19] | 28 |
| Tab. 6 | Porovnání variant. | 35 |
| Tab. 7 | Vstupy..... | 39 |
| Tab. 8 | Výstupy..... | 39 |
| Diagram 1 | Hlavní algoritmus | 40 |
| Diagram 2 | Proces Vzit_ze_vstupu. | 41 |
| Diagram 3 | Proces Counter_vstupni. | 42 |
| Diagram 4 | Podproces Vlozeni_do_mereni | 43 |
| Diagram 5 | Proces Counter_vystup. | 44 |
| Graf 1 | Prodej průmyslových robotů [1] | 17 |
| Graf 2 | Oblastí využití průmyslových robotů [1] | 17 |